

## OS INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E A SUA RELAÇÃO COM A ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE DE RAVINAMENTOS: EXEMPLOS NO NORTE DE PORTUGAL

Bruno Martins  
CEGOT – Universidade de Coimbra  
bmsmartins@gmail.com

António Pedrosa  
UFU, CEGOT  
aspedros@gmail.com

### RESUMO

Os incêndios florestais que se manifestam de forma continuada e recorrente sobre o território agro-florestais do Norte de Portugal geram modificações importantes no uso e ocupação do solo (UOS) e implicam o desencadeamento de diversos processos erosivos, os quais contribuem para a degradação dos solos. Por sua vez a degradação dos solos vai implicando alterações mais ou menos rápidas sobre a UOS. Estudos recentes confirmam o papel do UOS, na formação de ravinamentos e movimentos em massa, processos extremamente acelerados imediatamente a seguir aos incêndios florestais (e.g. Reid & Dune, 1996; Nyssen *et al.*, 2002; Douglas & Pietroniro, 2003; Ezezika & Adetona, 2011; Tsimi *et al.*, 2012; Frankl *et al.*, 2012). Neste trabalho pretende-se, a partir da análise de regressão logística numa área amostra no Norte de Portugal: (i) identificar os factores que mais contribuem para a formação de ravinas e sulcos e (ii) relacionar o UOS, em particular as áreas recentemente incendiadas, com presença ou ausência de ravinas e sulcos.

**Palavras-Chave:** Uso e ocupação do território (UOS), incêndios, ravinamentos, regressão logística, Norte de Portugal.

### ABSTRACT

The wildfires that appear continuously on the agro-forestry territory in northern Portugal generate important changes in the land use and cover (LUC) contributing to the development of erosion processes that lead to increase soil degradation. This degradation will require changes in LUC. Recent studies confirm the role of wildfires in the formation of gullies and mass movements (e.g. Reid & Dune, 1996; Nyssen *et al.*, 2002; Douglas & Pietroniro, 2003; Ezezika & Adetona, 2011; Tsimi *et al.*, 2012; Frankl *et al.*, 2012). This paper aims (i) to identify the factors that most contribute to gullies and rills formations of and (ii) relate LUC, in particular burn areas, with the presence or absence of ravines and rills in a sample area in northern Portugal based on a logistic regression analysis.

**Key words:** Land use and cover (LUC), forest fires, gullies, logistic regression, north of Portugal.

## INTRODUÇÃO

A cartografia de áreas de maior ou menor susceptibilidade de erosão pode ser um instrumento importante no sentido da sua mitigação e controlo. Permite ainda identificar as variáveis que mais influenciam a formação de um processo geomorfológico. Movimentos em massa e ravinas são processos geomorfológicos que contribuem de forma muito significativa para a perda de capacidade produtiva do solo, quer pela sua ablação, quer pela remoção de nutrientes (e.g. Wasson *et al.*, 2002; Krause *et al.*, 2003; Vente *et al.*, 2007; Huon *et al.*, 2005; Bergonse & Reis, 2011). Estudos recentes sugerem a importância do contributo destes processos na produção de sedimentos (Pedrosa, 1993; Pedrosa *et al.*, 2001; Poesen *et al.*, 1998; Kheir *et al.*, 2007), confirmando a sua importância como elementos chave no estudo da erosão, especialmente em regiões de domínio Mediterrâneo, onde contribuem de forma muito intensa na degradação de campos agrícolas e pastagens (e.g. Villeveille, 1997; Pedrosa, 1991, Martinez-Casasnovas & Poch, 1998; Vandekerckhove *et al.*, 2005; J. Martinez-Casasnovas, 2003; Castillo *et al.*, 2007; Rebelo, 2008; Nunes *et al.*, 2008, 2009; Tsimi *et al.*, 2012; Frankl *et al.*, 2012) e na deteiorização da qualidade da água, em rios e reservatórios (Bufalo & Nahon, 1992; DeRose *et al.*, 1998; J. Martinez-Casasnovas, 2003).

O papel dos incêndios florestais na aceleração dos processos erosivos e vice-versa tem sido confirmado por inúmeros trabalhos (e.g. Amaranthus & Trappe, 1993; Andreu *et al.*, 1995; Martins & Pedrosa, 2008; Wise *et al.*, 2004; Jordan *et al.*, 2004; Bento-Gonçalves & Vieira, 2011; Miller *et al.*, 2011). Neste sentido é importante o conhecimento da relação entre o uso e ocupação do solo (UOS) e em particular, as áreas incendiadas, e o aumento relativo à susceptibilidade de ocorrência de processos erosivos, nomeadamente ravinamentos.

Nos últimos anos, o número de trabalhos consagrados à cartografia de processos geomorfológicos aumentou, aproveitando o contributo, por exemplo, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e diferentes modelações alicerçadas em análises estatísticas como a regressão logística, multivariada, *fuzzy logic* ou probabilidade Bayesiana (e.g. Carrara *et al.*, 1995; Chung, *et al.*, 1995; Guzzetti *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2007; Sezer *et al.*, 2011), embora em menor número no que respeita à aplicação das ravinas (e.g. Bocco, 1991; Poesen *et al.*, 1998; J. Martinez-Casasnovas, 2003; Kheir *et al.*, 2007; Samani *et al.*, 2010; Martins, 2010; Nwilo *et al.*, 2011).

Neste trabalho procurou-se identificar os factores que mais contribuem na formação de ravinas a partir da análise estatística numa área amostra localizada no Norte de Portugal com recurso à modelação logística. Desta forma, permitiu relacionar o UOS, em particular as áreas recentemente incendiadas com a presença ou ausência de ravinas e sulcos.

## 1. METODOLOGIA

Ao longo dos últimos anos foram desenvolvidas diferentes modelações na construção de mapas de susceptibilidade baseados: (1) no conhecimento e na experiência do investigador relativamente ao processo estudado e (2) métodos empíricos alicerçados em análises estatísticas (Svoray 2011). Os métodos baseados no conhecimento e experiência do investigador assentam geralmente em processo de hierarquia analítica (PHA). Em geral, este tipo de abordagem inclui dois procedimentos principais: a pontuação e a interpolação (Saaty 1977; Malczewski, 1999). Os métodos empíricos mais complexos, assentes em séries estatísticas, baseam-se na análise de dados que procuram estatisticamente identificar as variáveis e a importância de cada uma delas no desenvolvimento dos processos, implicando geralmente grandes conjuntos de dados (Fayyad *et al.*, 1996). No trabalho desenvolvido recorreu-se à regressão logística. Trata-se de uma forma de regressão categorial particularmente adequada a fenómenos que têm expressão em termos de presença/ausência, podendo portanto ser representados na forma de variáveis dependentes nominais binárias ou dicotómicas.

A variável dependente ( $y$ ) é a presença ou ausência de ravinas e  $P$  um conjunto de variáveis independentes  $x_1, x_2, \dots, x_p$ , que afectam a formação de ravinas. As variáveis independentes correspondem ao conjunto de *layers* temáticos introduzidos no Sistema de

Informação Geográfica (SIG). A probabilidade de ocorrência de ravinas é representado por  $P (y = 1/X)$ , sendo o *logit* (Hosmer & Lemeshow 2000) definido por:

$$\text{logit} (y) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \dots b_p x_p \quad (1)$$

onde  $b_0$  é a constante da equação e  $b_1, b_2, \dots, b_p$  são os coeficientes das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_p$ . A probabilidade  $P (y = 1/X)$  pode ser expressa pelo modelo de regressão logística:

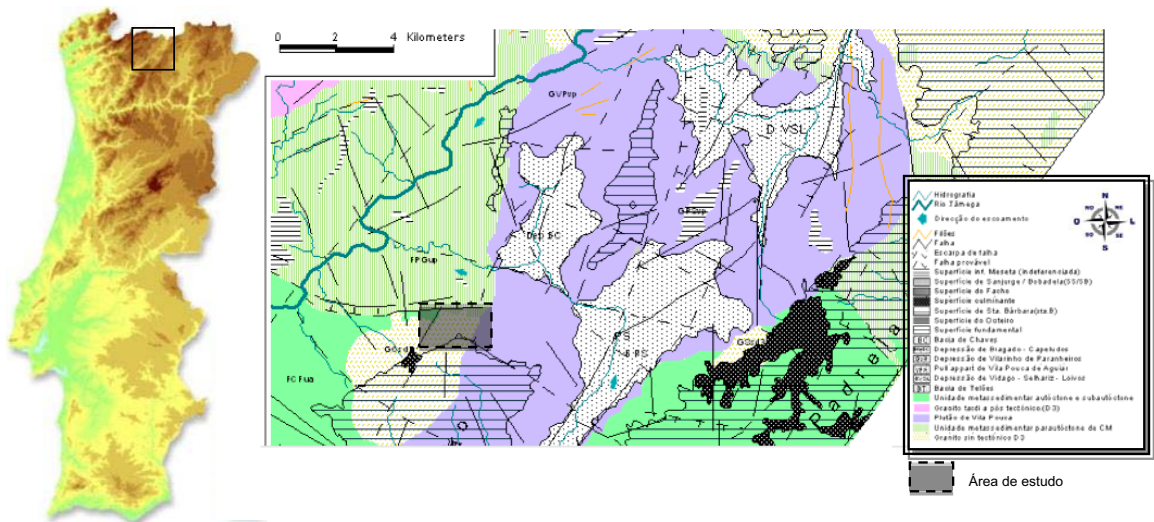
$$P \left( y = \frac{1}{X} \right) = \frac{1}{1 + e^{-b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 - b_p x_p}} \quad (2)$$

No modelo proposto,  $P_x$  é a expressão que define a propensão há formação de ravinas, sendo uma variável continua onde 1 é considerada a propensão máxima e 0 a mínima. Baseado neste modelo, a susceptibilidade de ocorrência de ravinamento pode ser obtida a partir da equação (2).

A construção do modelo envolveu as seguintes etapas: (i) a pré-seleção de variáveis consideradas fundamentais na formação e desenvolvimento das ravinas; (ii) seleção das variáveis estatisticamente significativas com base na análise de probabilidade logística; (iii) modelação com base na análise logística a partir das variáveis selecionadas

### 1.1. Localização da área amostra e aquisição de dados

A área amostra tem uma dimensão de cerca de 3km<sup>2</sup>, localizada na vertente norte da serra do Alvão, próximo das povoações de Pensalvos e Parada de Monteiros, na margem direita do rio Avelâmes. A área é constituída pelo granito de Sabrosa (GS), pelo granito do Minheu (GM) e pelos metassedimentos incluídos na formação pelito-grauváquica do Silúrico. Esta formação é constituída por xistos cinzentos com intercalações de xistos negros, ampelitos e liditos, com alternância de pelitos psamíticos, grauvaques e tufos vulcânicos (Figura 1).

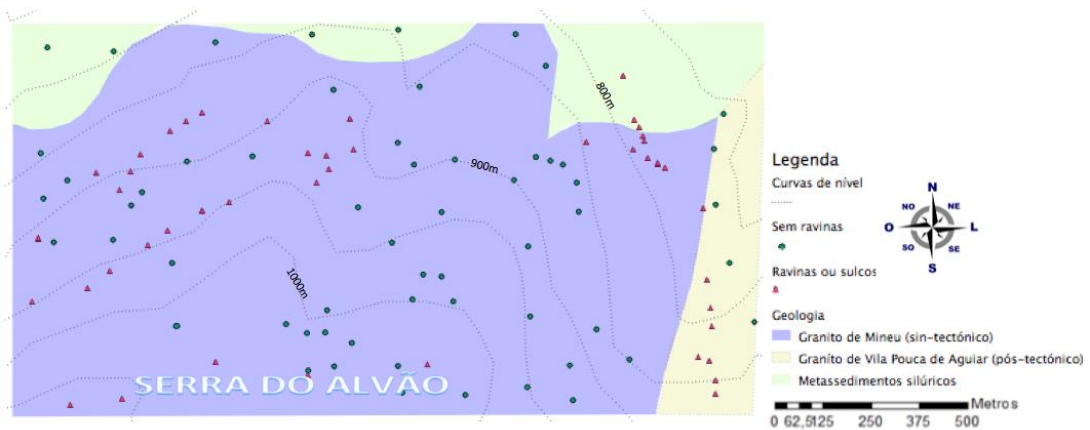


**Figura 1.** Localização e enquadramento morfo-estrutural da área de estudo

Do ponto de vista tectónico pertence à Zona-Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM) (Farias *et al.*, 1985, Arenas *et al.*, 1988). É constituída em termos litológicos por duas unidades: (i) rochas metasedimentares e (ii) rochas granitóides. A primeira pertence às formações do complexo parautoctone, autoctone e sub-autoctone, a segunda, aos granitos hercínios biotíticos com

plagioclase cálcica e diferenciados, associados à fracturação frágil tardi hercínica, correspondem aos granitos que constituem o Plutão de Vila Pouca (PVP). A morfologia está relacionada com o desligamento sinistro tardi-hercínico Verin-Penacova pertencente ao mesmo sistema de fracturas do acidente Manteigas-Vilariça-Bragança, sendo-lhe sub-paralelo, de orientação geral NNE-SSW, localizando-se cerca de 60 km a ocidente. Tal como a maioria do país, a área amostra apresenta características climáticas Mediterrâneas (Cs).

Foram introduzidas 4 variáveis independentes: (i) declive; (ii) UOS; (iii) espessura das formações superficiais; (iv) litologia e ainda 172 locais de amostragem escolhidos aleatoriamente a partir de geo-posicionamento global com 5 metros de precisão. Sulcos e ravinas foram tratados de forma idêntica uma vez que não foi definida nenhuma fronteira entre as duas formas em nenhum sector transversal (Souchère, 1995; Poesen *et al.*, 1996; Roose *et al.*, 2000) ou profundidade. Foram então considerados sítios com ou sem presença de ravinas (Figura 2).



**Figura 2.** Litologia e localização dos locais de amostragem de presença/ausência de ravinas ou sulcos.

O declive, em graus, foi obtido a partir de um Modelo Digital de Terreno de tipo TIN, triangulado a partir da altimetria da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000 (IGeoE), convertido para estrutura matricial, com um *pixel* de 5m de lado. Em função da progressão tendencialmente linear do valor de declive face à frequência de ocorrência, observado num histograma, as classes foram definidas com base na posição dos desvios-padrão, com os seguintes limites: [0-2°]; [2-9°]; [9-16°]; [16-23°]; [23-32°] e [32-63°].

Informação sobre a UOS pode ser obtida a partir da cartografia da Corine Land Cover 2000 (European Environmental Agency), produzida à escala 1:100000. Contudo, esta informação não está atualizada para todo o território, relacionado com o facto de que entre o processo de modelação e validação distar cerca de 10 anos. Alguns trabalhos (e.g. Pinheiro, 2005; Cerdeira *et al.*, 2006) tem demonstrado baixos níveis de precisão entre a cartografia produzida para o território português (GLC2000 MOD12Q1) e a realidade, devendo por tanto, ser utilizada com precaução. Neste sentido, para a área de estudo foi criado um mapa UOS baseado na análise de fotografias aéreas e observação no local. Este trabalho é especialmente importante na análise da evolução do coberto vegetal desde a ocorrência, por exemplo, de um incêndio e as diferentes fases de evolução da cobertura vegetal, com implicações na susceptibilidade face ao processo de ravinamentos.

Foram definidas 6 classes: áreas de cultivo, pastagens, florestas, florestas recentemente incendiadas, florestas arbustivas e áreas degradadas, baseado nos trabalhos de Múelenaere *et al.*, 2011 e Meire *et al.*, 2012:

**Tabela I.** Classes de uso e ocupação do solo (UOS) e as respectivas características

Uso e Ocupação do Solo (UOS) ou classes UOS detalhadas	Características
<b>I ÁREAS DE CULTIVO</b>	Áreas de cultivo com culturas de sequeiro ou de regadio, sazonais ou perenes.
I. A Áreas de cultivo	Terras cultivadas preferencialmente localizados em áreas com declives baixos (por exemplo, depressões).
<b>II FLORESTA</b>	cobertura vegetal superior a 30%, de características arbóreas. vegetação arbustiva e herbácea frequente nos andares inferiores. ocupam geralmente áreas de maior declive
II. A Floresta densa	Compreendem áreas florestais com cobertura superior a 30% (Pinus Pinaster e Eucalyptus como espécies dominantes) com elevada proteção do solo.
II. B Florestas recentemente incendiadas	Florestas incendiadas (Pinus Pinaster e Eucalyptus são as espécies dominantes) com cobertura superior a 30%. 10-50% da área total da unidade de terra coberta de arbustos queimados.
<b>III. FLORESTA ARBUSTIVA</b>	vegetação arbustiva constitui predominantemente a cobertura do solo, especialmente em vertentes íngremes
III. A Floresta arbustiva	10-50% da área total da unidade de terra coberta por vegetação arbustiva, <30% de vegetação herbácea, sem vegetação lenhosa.
<b>IV. PASTAGENS</b>	vegetação arbustiva constitui a cobertura do solo predominante, geralmente relacionados com áreas de pastagens
IV. A Áreas de pastagem degradadas com vegetação herbácea	Mais de 50% da área total da unidade é coberto por vegetação arbustiva, expondo até 30% do solo.
IV. B Áreas de pastagem degradadas com presença de vegetação arbustiva e áreas reflorestadas	Mais 50% da área total da unidade é coberto por vegetação arbustiva, expondo até 30% do solo. Inclui áreas reflorestadas.

A espessura das formações superficiais foi obtida com base na *krigagem*. Trata-se de uma interpolação baseada numa análise de regressão a partir da coleta de pontos amostrados cujo o peso é atribuído segundo uma covariância espacial. O tratamento geo-estatístico dos dados foi conseguido, recorrendo à ferramenta *Geostatistical Analyst*, do ArcGis. Para a área de estudo procedeu-se à amostragem de 48 locais/perfis. No mapa produzido foi utilizado a *krigagem ordinária*. Estudos compararam vários métodos geo-estatísticos na previsão da espessura do solo, tendo concluído que as melhores previsões eram conseguidas recorrendo à *krigagem ordinária* e à *co-krigagem* (e.g. Penizek & Boruvka, 2004). Para *krigagem ordinária* ao invés de assumir que a média é constante ao longo de todo o domínio, assume antes a constante mais próxima de cada ponto de avaliação, em que  $m(u\alpha) = m(u)$  para cada valor de dados nas proximidades,  $Z(u\alpha)$ , é usado para estimar  $Z(u)$ . Trata-se de uma metodologia pouco dispendiosa e que permite atualizações de informação a partir da colecta de novos pontos de amostra (Santos, 2011).

## 2. RESULTADOS

As variáveis independentes introduzidas no modelo foram o declive, o UOS, espessura das formações superficiais e a litologia, sendo que ao introduzir estas 4 variáveis obteve-se o valor mais alto de associação (Chi-square 67,41). Por outro lado, a variável independente UOS foi a que obteve valores *B* mais elevados (0,571), assumindo desta forma como a variável independente que melhor relação assume com a presença ou ausência de ravinas e sulcos. O declive foi a segunda variável independente que melhor relação estabeleceu com a presença de ravinas.

A maioria das ravinas e sulcos encontra-se em áreas de floresta degradada, recentemente incendiada ou reflorestada e em vertentes de declives entre os 9 e os 23°. A sua grande maioria correspondem a sulcos com reduzida capacidade de transporte em solos pouco profundos, que raramente ultrapassam os 30 cm de profundidade. Verificou-se uma boa relação entre a espessura do solo e UOS. Baseado neste relação, alguns autores (e.g. Vermeulen *et al.* 1994; Zakharova *et al.*, 2002) desenvolveram modelações que relacionam o UOS com o tipo de solo permitindo calcular a estimativa da capacidade de água no solo passível de ser evaporada e desta forma estimar a profundidade do solo. Solos finos, mais comuns em áreas de pastagem e floresta degradada, assumem geralmente uma ambivalência relativamente à escorrência (Valentin *et al.*, 2003). Se por um lado atrasam a início da instalação das ravinas (e.g. Zhu & Cai, 2004; Muñoz-Robles *et al.*, 2010), a reduzida capacidade de infiltração torna-os mais susceptíveis aos

processos de ravinamento e sulcagem (Prasad & Romkens, 2004). Este facto é observável principalmente no sector oeste da área-amostra, em florestas degradadas. Muitas das vezes, a presença de material solto, clastos que resultaram de processos de crioclastia envolvidos por uma materiz silto-terrosa, permite a formação de pequenos sulcos.

**Tabela 2.** Valores *B* e valores de Odds Ratio (*Exp B*) para as variáveis introduzidas no modelo

	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>Wald</i>	<i>Df</i>	<i>Exp (B)</i>
UOS			,815	5	
UOS_IIA_CLASS	-22,421	7567,446	,000	1	,000
UOS_IIB_CLASS	-22,734	6082,431	,000	1	,000
UOS_IVB_CLASS	-,601	,755	,634	1	,548
UOS_VA_CLASS	-,127	,726	,030	1	,881
UOS_IB_CLASS	-,502	,779	,416	1	,605
DECLIVE			3,037	4	
SLOPE_CLASS_1	-20,589	10746,504	,000	1	,000
SLOPE_CLASS_2	,338	1,024	,109	1	1,402
SLOPE_CLASS_3	-,838	,877	,914	1	,432
SLOPE_CLASS_4	,043	,908	,002	1	1,044
Formações Sup.			14,053	6	
Inexistente	-,597	15712,718	,000	1	,551
50-100 cm	-3,635	1,177	9,543	1	,026
100-150 cm	-,243	,919	,070	1	,784
150-200 cm	-1,664	,920	3,271	1	,189
200-250 cm	-2,442	1,078	5,130	1	,087
250-300 cm	-1,414	1,059	1,784	1	,243
GEOLOGIA	-1,472	,940	2,456	1	,229
Constante	3,773	1,632	5,346	1	43,516

As ravinas mais profundas estão presentes no sector oriental da área de estudo, em classes de declive 2 e 4 (SLOPE\_CLASS\_2 e SLOPE\_CLASS\_4), em floresta recentemente incendiada onde a presença de formações superficiais de maior espessura terá permitido a evolução em profundidade destas ravinas. As formações superficiais correspondem a mantos de alteração de espessura variada, em certos sectores das vertentes ultrapassam os 4 metros de profundidade, induzidas pela ação tectónica (e.g. Aydin, & Egeli, 2001; Valentin *et al.*, 2003; Aydin, 2006). Não sendo um factor com forte correlação entre a presença/número de ravinas e sulcos (*Pearson Correlation 0,376*), as formações superficiais são importante no desenvolvimento vertical das ravinas uma vez que permitem a evolução vertical ao atuarem sobre este tipo de material pouco coeso.

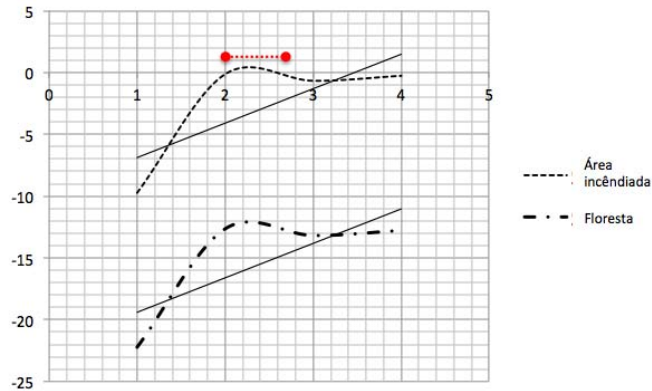
Não foram observadas ravinas nem sulcos em áreas agrícolas e de pastagem. A presença de coberto vegetal terá funcionado como elemento de proteção à formação de ravinamento (Mian *et al.*, 2009). No entanto, estas áreas deverão ser alvo de atenção uma vez que padecem de importantes mudanças ao nível da percentagem de cobertura vegetal ao longo do ano, estando por vezes, por períodos consideráveis de tempo, sem qualquer tipo de proteção. Nestes períodos a susceptibilidade à formação de ravinamentos é certamente mais elevada.

O coeficiente de regressão mais alto foi obtido pela variável SLOPE\_CLASS\_2 (classe de declive entre os 2 e os 9°). O *odds ratio* para a presença de ravinas e não ravinas é 1,402 vezes mais elevado na presença desta variável. Ainda associado ao declive, a classe SLOPE\_CLASS\_4 (classe de declives entre os 16 e os 23°) apresenta o segundo coeficiente de regressão mais alto (1,044). O seguinte valor mais significativo foi obtido pela variável UOS\_IVA\_CLASS (floresta degradada) com um valor de 0,881, seguido da espessura das formações superficiais entre os 100cm e os 150cm (0,784) e pela UOS\_IIB\_CLASS (áreas recentemente incendiadas) (0,605) (tabela 2).

Associado ao declive, a característica do UOS do solo assumem um papel importante na susceptibilidade de ravinamento. Por outro lado, esta é a variável que mais diretamente se relaciona com a atividade antrópica. Na figura 3 é analisado o *odds ratio* para a ocorrência de ravina com base no *logit* calculado a partir:

$$\text{logit}(y) = b x_1 + b x_2 \quad (3)$$

onde que se relaciona o declive ( $x_1$ ;  $x_2$ ; ...  $x_4$ ) e o UOS área incendiada (linha A) e UOS de floresta (linha B) (b).



**Figura 3.** Odds ratio em função das variáveis independentes UOS e declive para áreas incendiadas e floresta

Com base neste análise, os valores do *log-odds* para UOS de floresta indicam um probabilidade para a ocorrência de ravinamento muito baixa. Nas áreas de floresta recentemente incendiada os valores do *log-odds* são positivos quando associados a declives médios, entre 9 a 23° (figura 3). Este tipo de UOS favorece a ocorrência em detrimento da infiltração contribuindo desta forma para a concentração do escoamento, fator fundamental na formação de ravinas. Outros fatores, como a declive, características do tipo de solo e profundidade das formações funcionam como fatores secundários no desenvolvimento do processo (Billi & Dramis, 2003). A espessura das formações superficiais condiciona o desenvolvimento vertical do processo. Geralmente encontram-se em áreas florestadas, em material de natureza granitoide e correspondem a mantos de alteração. Os níveis mais elevados de infiltração favorecem o processo de meteorização. Os incêndios ao exporem este tipo de material contribuem para a diminuição da capacidade de infiltração e aumentam a ocorrência.

Verificou-se ainda uma maior capacidade de transporte das ravinas nos sectores médios. No sector terminal perdem capacidade de transporte depositando nestes sectores todo o material mobilizado (i.e. Willgoose *et al.* 1991) (figura 4). Este processo é particularmente observável em áreas recentemente incendiadas.



**Figura 4.** Secção terminal de uma ravina numa área recentemente incendiada (área amostra) já em fase de recuperação de vegetação.

### 3. CONCLUSÃO

O modelo de regressão logística foi utilizado de forma a estabelecer a relação entre a presença de ravinas e sulcos e o contexto ambiental a partir das variáveis independentes que foram consideradas *a priori* fundamentais ao desenvolvimento do processo. O modelo permitiu definir um *ranking* das variáveis que mais contribuem para a formação de ravinas definido a partir dos coeficientes logísticos, considerando o UOS, declive, espessura das formações superficiais e litologia como as variáveis mais importante.

Os valores de *odds ratio* sugerem os declives entre 9° e os 23° como as áreas de maior susceptibilidade à formação de ravinas. Por outro lado, o modelo indicou uma forte relação entre a presença/ausência de ravinas associado ao UOS (valor *B* de 0,571). O UOS de floresta degradada, recentemente incendiada e reflorestada foram o tipo de UOS que obteve valores de *odds ratio* mais elevados para a formação de ravinas, confirmando a ausência de vegetação como factor fundamental para a formação de ravinas e sulcos (e.g. Govers *et al.*, 2004), principalmente em vertentes de declive médio, aumentado a escorrência em detrimento da infiltração. Após a formação de canais, a presença de formações superficiais é fundamental no desenvolvimento vertical do processo. É na presença deste tipo de formações, constituídas por depósitos de vertente, mas fundamentalmente por mantos de alteração graníticos, onde se encontra as ravinas mais profundas. A presença deste tipo de formações encontra-se geralmente em área de floresta. Os incêndios, ao destruírem uma boa parte da vegetação, nomeadamente arbustiva e herbácea, altera o processo de geodinâmica externa, aumentado a escorrência, contribuindo para o aumento de susceptibilidade de ocorrência de ravinamentos.

### BIBLIOGRAFIA:

- AMARANTHUS, M. & TRAPPE, J. (1993) – Effects of erosion on ecto-and VA-mycorrhizal inoculum potential of soil following forest fires in southwest Oregon, *Plant and Soil*, Vol.150, p.41-49.
- ANDREU, V.; RUBIO, J.; CERNÍ, R. (1995) – Effect of Mediterranean shrub on water erosion control, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 37, p.5-15.
- ARENAS *et al* (1988) – Características geológicas y significado de los dominios que componen la Zona de Galicia-Tras-os-Montes, Simposio sobre Cinturones Orogénicos, II Congreso de Geología de España, Granada, p.75-84.
- AYDIN, A. & EGELI, I. (2001) – Stability Of Slopes Cut In Metasedimentary Saprolites In Hong Kong, *Bull. Eng. Geol. Env.*, 60, 315–319.



- AYDIN, A. (2006) – Stability Of Saprolitic Slopes: Nature And The Role Of Field Scale Heterogeneities, Natural Hazards And Earth System Sciences, European Geosciences Union.
- BENTO-GONÇALVES, ANTÓNIO J; VIEIRA, ANTÓNIO. EDS. (2011) - *Fire Effects on Soil Properties*. Proceedings of the 3rd International Meeting of Fire Effects on Soil Properties ed. 1, 1 vol., Guimarães: NIGP-Univ. Minho e CEGOT, 280 p.
- BERGONSE, R. & REIS, E. (2011) – Formas, processos e padrões na erosão por ravinamento: Para um enquadramento teórico coerente, Finisterra, XLVI, 92, Lisboa, pp. 99- 120.
- BILLI, P. & DRAMIS, F. (2003) – Geomorphological investigation on gully erosion in the Rift Valley and the northern highlands of Ethiopia, *Catena*, 50, p.353-368.
- BOCCO, G., (1991) – Gully erosion: processes and models. *Progress in Physical Geography* 15 (4), 392–406.
- BUFALO, M. & NAHON, D. (1992) - Erosional processes of Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma* 52: 133–147.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P. (1995) - GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara A, Guzzetti F (eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards, advances in natural and technological hazards research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 135–176
- CASTILLO; MOSCH; GARCÍA; BARBERÁ; CANO; LÓPEZ-BERMÚDEZ (2007) - Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain), Vol. 70; Issue 3, Pages 416–427.
- CERDEIRA, CECÍLIA; ARAÚJO, ANTÓNIO; CARRÃO, HUGO; CAETANO, MÁRIO (2006) – Validação das cartografias globais de ocupação do solo, GLC2000 e MOD12Q1, para Portugal Continental, IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Lisboa.
- CHEN, Zhaohua & WANG, Jinfei (2007) – Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada, *Nat Hazards* (2007) 42:75–89.
- CHUNG, C.; FABBRI A.; VAN WESTEN C.; (1995) – Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: Carrara A, Guzzetti F (eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards, advances in natural and technological hazards research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 107–134
- DEROSE C.; GOMEZ B.; MARDEN M.; TRUSTRUM A.; (1998) – Gully erosion in Mangatu forest, New Zealand, estimated from digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 1045–1053.
- FARIAS *et al* (1985) – Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central, IX Reunión Oeste Peninsular, Mem. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciên. Univ. Porto, n. °1, Porto, pp.411-431.
- FRANKL, A., POESEN, J., DECKERS, J., MITIKU HAILE, NYSSSEN, J., (2012) – Gully head retreat rates in the semiarid Highlands of North Ethiopia. *Geomorphology* 173-174, 185-195.
- HOSMER W. & LEMESHOW S. (2000) – *Applied logistic regression*. John Wiley & Sons, Inc., 375 pp.
- HUON, S.; BELLANGER, B.; BONTE, P., PODWOJEWSKI, P.; VALENTIN, C.; VELASQUEZ, F.; VANDEKERCKHOVEA, L.; POESEN, J.; OOSTWOUD D.; FIGUEIREDO, T. (2005) – Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean, Volume 33, Issues 3–4, November, p. 271–292.
- JORDAN P., CURRAN, M., AND NICOL, D. 2004 – Debris flows caused by water repellent soil in recent burns in the Kootenays. *Aspect*, 9(3): 4-9. Division of Engineers and Geoscientists in the Forest Sector, Association of Professional Engineers and Geoscientists of B.C.
- KHEIR, R.; WILSON, J.; DENG, Y. (2007) – Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon, *Earth Surface Processes and Landforms, Earth Surf. Process. Landforms* 32, 1770–1782.
- KRAUSE, A.K.; FRANKS, S.W.; KALMA, J.D.; LOUGHRAN, R.J.; ROWAN, J.S. (2003) – Multi parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia. *Catena* 53 (4), 327–348.
- MALCZEWSKI, J. (1999) – *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons: New York. pp. 182–187
- MARTINEZ-CASASNOVAS & POCH (1998) – Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Limnetica* 14, 83–91.
- MARTINEZ-CASASNOVAS (2003) – A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50, Elsevier, p.293–308.

- MARTINS, B. (2010) – A depressão de Régua-Chaves-Verin: Contributo para a análise do risco de ravinamento (Régua-Chaves-Verin depression: contribution to the analysis of the gully risk), PhD Thesis, University of Coimbra.
- MARTINS, B., PEDROSA, A. S. (2008) – Forest Fires, Erosion and Risk Cartography: Examples In Northern Portugal. *Geociências* (São Paulo Online), v.27, p.87 – 95.
- MEIRE, E.; FRANKL, A.; DE WULF, A.; MITIKU, H.; DECKERS, J.; NYSSSEN, J., (2013) - Land use and cover dynamics in Africa since the nineteenth century: warped terrestrial photographs of North Ethiopia. *Regional Environmental Change*, online early view. DOI
- MIAN, L.; WENIY, Y.; WENFENG, D.; JIANFENG, Y.; JIANGNAN (2009) – Effect of grass coverage on sediment yield in the hillslope-gully erosion system, *J. Geogr. Sci.*, 19, Springer-Verlag, p.321-330.
- MILLER, MARY; MACDONALD, LEE; ROBICHAUD, PETER; ELLIOT, WILLIAM (2011) – Predicting post-fire hillslope erosion in forest lands of the western United States, *International Journal of Wildland Fire*, 20, 982–999.
- MÛELENAERE, S.; FRANKL, A.; MITIKU, H.; POESEN, J.; DECKERS, J.; NYSSSEN, J. (2011) – Calibration of Landsat land use/cover in the Ethiopian highlands using historical terrestrial photography. *Land Degradation & Development*, in preparation.
- MUÑOZ-ROBLESA, C.; REIDA, N.; FRAZIERB, P.; TIGHEA, M.; BRIGGSC, S.; WILSONA, B. (2010) – Factors related to gully erosion in woody encroachment in south-eastern Australia, *Volume 83, Issues 2–3, November–December*, p. 148–157.
- NUNES, J.; SEIXAS, J.; KEIZER, J.; FERREIRA, A. (2009) – Sensitivity of runoff and soil erosion to climate change in two Mediterranean watersheds. Part II: assessing impacts from changes in storm rainfall, soil moisture and vegetation cover. *Hyd. Process.* 23, 1212–1220.
- NUNES, J.; SEIXAS, J.; PACHECO, N. (2008) – Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds. *Hyd. Process.* 22, 3115–3134.
- NWILO, P.; OLAYINKA, D.; UWADIEGWU, I.; ADZANDEH, A. (2011) - An Assessment and Mapping of Gully Erosion Hazards in Abia State: A GIS Approach, *Journal of Sustainable Development* Vol. 4, No.5.
- PEDROSA, A. S. (1991) - Consequências de situações meteorológicas anormais: breve reflexão. *Revista da Faculdade de Letras. Geografia*, v.VII, p. 41 – 55.
- PEDROSA, A. S. (1993) - *A Serra do Marão: estudo de Geomorfologia*. Porto : FLUP-UP, 3.v. 455 p.
- PEDROSA, A. S., et al. (2001) - Metodologia para o estudo dos ravinamentos In: *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão de Solos*. ed.Porto : FLUP-UP, v.1, p. 85-98.
- PENIZEK, V. & BORUVKA, L. (2004) – Processing of conventional soil survey data using geostatistical methods. *Plant Soil And Environment* , 50, p. 352-357.
- PINHEIRO, A., (2005) – Validação da cartografia de ocupação de solo MOD12Q1 para Portugal Continental, Estágio final da Licenciatura em Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- POESEN, J.W., VANDAELE, K., VAN WESEMAEL, B., (1998) – Gully erosion: importance and model implications. In: Boardman, J., Favis-Mortlock, D. (Eds.), *Modelling Soil Erosion by Water*. NATO AS Series, vol. I 55. Springer-Verlag, Berlin, pp. 285–311.
- PRASAD, S. & ROMKENS, M.J.M. (2004) – Mechanic energy and subsurface hydrologic effect in head-cut processes. In: Li, Y., Poesen, J., Valentin, C. (Eds.), *Gully Erosion Under Global Change*. Sichuan Science and Technology, Press, Chengdu, China, pp. 109–120.
- PRASAD, S. & ROMKENS, M.J.M. (2004) – Mechanic energy and subsurface hydrologic effect in head-cut processes. In: Li, Y., Poesen, J., Valentin, C. (Eds.), *Gully Erosion Under Global Change*. Sichuan Science and Technology, Press, Chengdu, China, pp. 109–120.
- REBELO, F. (2008) – Um novo olhar sobre os riscos? O exemplo das cheias rápidas (flash floods) em domínio mediterrâneo (A new look at the risks? The examples of flash floods in the Mediterranean area), *Territorium*, nº15, Coimbra, p.7-14.
- ROOSE, E.; CHEBBANI, R. ; BOUROUGAA, L. (2000) – Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*. 11(4): 317–326
- SAATY, T.L. (1977) – Scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol* 15:234–281
- SAMANI, A.; AHMADI, H.; MOHAMMADI, A.; GHODDOUSI, J.; SALAZEGHEH, A.; BOGGS, G.; PISHYAR, R (2010) – Factors controlling gully advancing and models evaluation (Hableh Rood Basin Iran), *Water Resour Manage*, Springer; 24, p.1531-1549.

- SANTOS, Patrícia (2011) – Cartografia de Espessura de Alteração numa Zona Piloto da Margem do Douro através de Métodos Sísmicos: Implicações para o Ordenamento do Território. Tese de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, p. 230.
- SEZER E.A.; PRADHAN, B.; GOKCEOGLU, C. (2011) – Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Syst App* 38(7):8208–8219
- SOUCHÈRE V. (1995) - Modélisation Spatiale du Ruissellement à des Fins d'Aménagement Contre l'Érosion de Talweg, Ph.D. thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- SVORAY, T.; MICHAÏLOV, E.; COHEN, A.; ROKAH, L.; STURM, A. (2011) – Predicting gully initiation: comparing data mining techniques, analytical hierarchy processes and the topographic threshold. *Earth Surf. Process Landforms* 37:607–619
- TSIMI, C.; GANAS, A.; DIMOYIANNIS, D.; VALMIS, S.; LEKKAS, E. (2012) - Catchment-wide estimate of single storm interrill soil erosion using an aggregate instability index: a model based on geographic information systems, *Natural Hazards*, Springer, Volume 62, Number 3.
- VALENTIN, C.; J. POESEN, J.; YONG L. (2003) – Gully erosion: Impacts, factors and control, *Catena* 63, Elsevier, p.132–153.
- VAN DEN EECKHAUT, M.; VANWALLEGHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRAETEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L. (2006) - Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology* 76:392–410.
- VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; GERT VERSTRAETEN, G. (2007) – The sediment delivery problem revisited, *Progress in Physical Geography* 31(2), p. 155–178.
- VERMEULEN *et al* (1994) – A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping, proceeding of the Second European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management, Rotterdam, A. A. Balkema, European Water Resources Association, Lisbon.
- VILLEVIELLE, A. (1997) – Les risques naturels en Méditerranée. Situation et perspectives, Paris, Economica, Les Fascicules du Plan Bleu, 10, p.160.
- WASSON, R.J.; CAITCHEON, G.; MURRAY, A.S.; MCCULLOCH, M.; QUADE, J. (2002) – Sourcing sediment using multiple tracers in the catchment of Lake Argyle, northwestern Australia. *Environmental Management* 29(5), 634–646.
- WILLGOOSE, G.; BRAS, I.; RODRIGUEZITURBE, I. (1991) – A coupled network growth and hillslope evolution: 2. Non- dimensionalisation and applications. *Water Resour. Res.* 27, 1685–1696.
- WISE, M.P., MOORE, G.D., AND VANDINE, D.F. (eds.) 2004 – *Landslide Risk Case Studies in Forest Development Planning and Operations*. BC Ministry of Forests, Land Management Handbook 56.
- ZAKHAROVA *et al* (2002) – The estimation of the maximum amount of water available of evapotranspiration and the selection of runoff curve numbers for groundwater recharge assessment, LNEC, Lisboa.
- ZHU, Y. & CAI, Q. (2004) – Rill erosion processes and its factors in different soils. In: Li, Y., Poesen, J., Valentin, C. (Eds.), *Gully Erosion Under Global Change*. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, China, pp. 96-108

